

Исследования показали, что серпентинитовые отвалы, образованные в результате разработки месторождений асбеста, могут быть временными резерватами для поддержания численности популяций *E. atrorubens* в Уральском регионе в связи со способностью данного вида адаптироваться к сухим, скальным и обедненным питательными веществами субстратам.

Список литературы

1. Варлыгина Т. И., Вахрамеева М. Г., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2014. 437 с.
2. Adamowski W. Expansion of native orchids in anthropogenous Habitats // Polish Botanical Studies. 2006. Vol. 22. P. 35–44.
3. Мамаев С. А. Орхидные Урала: систематика, биология, охрана. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 124 с.
4. Ефимов П. Г. Орхидные северо-запада европейской России (Ленинградская, Псковская, Новгородская области). М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2012. 220 с.

УДК 581.1

А. С. Тугбаева, Д. С. Плотников,
А. А. Ермошин, И. С. Киселева

Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
620000, Россия, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
Anastasia.Tugbaeva@urfu.ru

ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ И ЛИГНИФИКАЦИЮ РАСТЕНИЙ ТАБАКА

Ключевые слова: засоление, клеточная стенка, антиоксидантные ферменты, лигнификация.

Вторичная клеточная стенка растений является механическим барьером, который защищает клетку от факторов внешней среды. Ее основные компоненты – целлюлоза и лигнин. Лигнин представляет собой неупорядоченный гетерополимер фенольной природы, в биосинтезе мономеров которого (монолигнолов) задействованы ферменты фенилпропаноидного пути, в том числе фенилаланинаммиаклиаза (PAL). В полимеризации монолигнолов до лигнина участвуют пероксидазы и лакказы. Пероксидазы также задействованы в ответе растений на окислительный стресс.

Засоление почвы – одна из проблем сельского хозяйства. У растений сформировались физиолого-биохимические адаптации к различному типу засолений. Негативное влияние засоления на растения связано с высоким осмотическим давлением почвенных растворов, накоплением ионов Na⁺ и подкислением апопласта. В конечном итоге это приводит к окислительному

стрессу, что приводит к нарушению деления и роста клеток в зоне растяжения корня, изменениям в работе ферментов биосинтеза ключевых компонентов клеточной стенки [1].

Цель работы – оценить влияние засоления на лигнификацию клеточной стенки и антиоксидантный статус растений табака.

Растения *Nicotiana tabacum* L. культивировали в субстрате (перлит: вермикулит в соотношении 1:1) на среде Кнопа [2] с добавлением NaCl в концентрации 25 и 50 мМ/л в течение 20 дней с последующей культивацией на среде Кнопа. Анализ проводили на растениях в возрасте 40 дней. Ферментативную активность гваяколовой пероксидазы (GPX), аскорбатпероксидазы (APX), PAL и содержание пероксида водорода определяли спектрофотометрически по стандартным методикам [3]. Для определения толщины клеточной стенки сосудов метаксилемы корня препараты окрашивали солянокислым флороглюцином и просматривали на световом микроскопе Meiji MT 4300L («Meiji Techno», Япония). Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA 10 с применением *t*-критерия Стьюдента для нормально распределенных генеральных совокупностей и не параметрического критерия Манна – Уитни.

APX – один из антиоксидантных ферментов, изоформы которого содержатся в цитоплазме, митохондриях, хлоропластах и пероксисомах. В растениях активность APX достоверно повышается на исследуемых концентрациях NaCl 25 и 50 мМ/л в 2 и 1,74 раза, активность GPX увеличивается в 1,3 и 1,2 по сравнению с контролем (рис. 1). Активность PAL возрастает на концентрации 25 мМ/л на 15% и снижается на 28% при выращивании растений на 50 мМ/л NaCl. При обработке NaCl в концентрации 25 мМ/л в растениях достоверно снижается содержание пероксида водорода на 24% по сравнению с контролем. Полученные результаты коррелируют с ферментативной активностью APX и GPX, которые используют пероксид водорода в качестве субстрата.

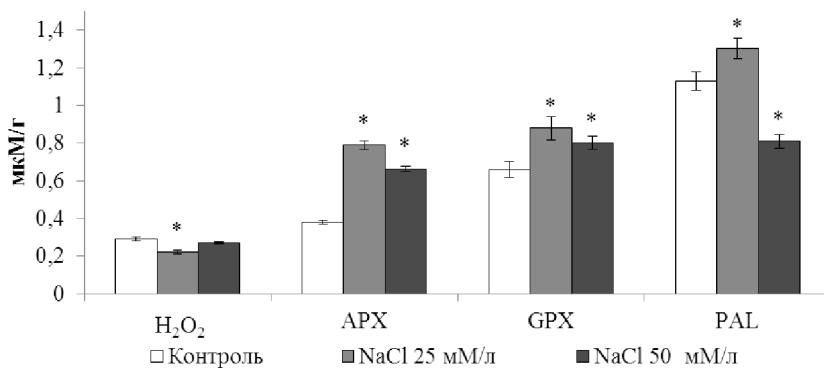


Рис. 1. Содержание пероксида водорода (мкМ/г сырого веса), активность гваяколовой пероксидазы – GPX, аскорбатпероксидазы – APX и фенилаланинаминиакилазы – PAL (мкМ/г белка) в *Nicotiana tabacum*. Данные представлены в виде среднего ± стандартное отклонение. Измерения проводились в пяти повторностях. * – достоверное отличие от контроля (критерий Манна – Уитни), $p \leq 0,05$

Корень является барьерным органом растений, регулирующим поступление и транспорт воды и ионов. В ответ на засоление происходит увеличение диаметра корня и центрального цилиндра (табл. 1) на 8,1 и 8,7% соответственно на концентрации 25 мМ/л NaCl (отличие значимо). В ответ на засоление наблюдается достоверное утолщение толщины клеточной стенки сосудов метаксилемы корня на 26,7 и 46% по сравнению с контролем.

Таблица 1

Толщина корня и центрального цилиндра, толщина клеточной стенки сосудов метаксилемы корня растений *Nicotiana tabacum*. Данные представлены в виде среднего \pm стандартное отклонение. Измерения проводились в тридцати аналитических и пяти биологических повторностях

Образец	Диаметр корня, мкм	Диаметр центрального цилиндра, мкм	Толщина клеточной стенки, мкм
Контроль	858,1 \pm 28,39	219,4 \pm 7,37	1,50 \pm 0,073
NaCl 25 мМ/л	927,9 \pm 28,24*	238,7 \pm 7,86*	1,90 \pm 0,068*
NaCl 50 мМ/л	897,9 \pm 27,16	195,0 \pm 7,13	2,19 \pm 0,097*

Примечание:

* – достоверное отличие от контроля (критерий Стьюдента), $p \leq 0,05$.

Таким образом, концентрации 25 и 50 мМ/л NaCl оказывают противоположные воздействия на растения. Концентрация 25 мМ/л активирует антиоксидантную систему и защитные реакции организма. Напротив, 50 мМ/л оказывают ингибирующее действие на активность ферментов, так как превышает пределы устойчивости растений. Активность ферментов коррелирует с толщиной клеточной стенки и процессами лигнификации: у растений, культивируемых на концентрации 25 мМ/л, увеличивается толщина клеточной стенки и диаметр корня, а на 50 мМ/л NaCl подавляются процессы роста.

Список литературы

1. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils / S.B. Caitlin et al. // Plant Science. 2018. Vol. 269. P. 47–55.
2. Saeger A. The growth of duckweeds in mineral nutrient solutions with and without organic extracts // The Journal of General Physiology. 1925. Vol. 7, № 4. P. 517–526.
3. Методы оценки антиоксидантного статуса растений / Г.Г. Борисова и др. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.